

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-137078

(P2002-137078A)

(43)公開日 平成14年5月14日(2002.5.14)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

B 2 3 K 26/00  
26/06

識別記号

3 2 0

F I

B 2 3 K 26/00  
26/06

テームコード\*(参考)

3 2 0 A 4 E 0 6 8  
C  
Z

// B 2 3 K 103:04

103:04

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-326930(P2000-326930)

(22)出願日 平成12年10月26日(2000.10.26)

(71)出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 今井 浩文

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(72)発明者 浜田 直也

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(74)代理人 100091269

弁理士 半田 昌男

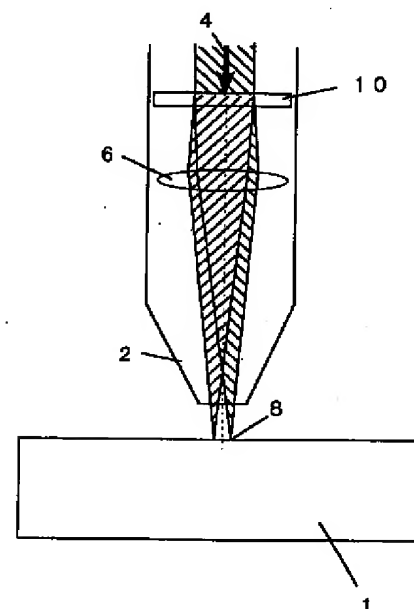
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ切断方法及びレーザ切断装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 レーザ切断において、切断面の断面粗さ、縦条痕ピッチの低減とドロス付着の問題を解決し、切断面品質の良好なレーザ切断を実現する銅板のレーザ切断方法、及びその装置を提供する。

【解決の手段】 レーザビーム4を銅板1に照射して加熱溶融しレーザ照射部を切断線に沿って移動しながら銅板1をレーザ切断する方法において、2個以上の複数のレーザビームの集光スポット8を銅板1上にて切断進行方向に対し直角方向に並べて配置して切断する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】レーザビームを鋼板に照射して加熱溶融しレーザ照射部を切断線に沿って移動しながら鋼板をレーザ切断する方法において、複数のレーザビームの集光スポットを鋼板上にて切断進行方向に対し直角方向に並べて配置して切断することを特徴とするレーザ切断方法。

【請求項2】レーザ発振器、ビーム伝送光学系、及び集光光学系と切断用アシストガス供給装置を伴う切断トーチからなるレーザ切断装置において、切断トーチから入力したレーザビームを分割するビームスプリッターと分割されたビームを照射面上で切断進行方向に対して直角に配置する切り替え機構と集光レンズとを備えたことを特徴とするレーザ切断装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザによる鋼板の切断技術に関する。特に厚板の切断技術に関わる。

## 【0002】

【従来の技術】鋼板を溶断する方法の一つに、切断部にレーザビームを照射するとともに酸素ガスを吹き付けて加熱溶融させて切断加工を行うレーザ切断法がある。他の切断法と比較してレーザ切断法は切断後の寸法精度が優れており、加工速度が速く、熱影響部の深さも低減できるといったメリットがある。

【0003】レーザ切断のメカニズムについては、例えば（文献：Miyamoto and Maruo, INDIAN WELDING JOURNAL, March, 1992）に記述されている。それによればレーザのビーム径の大きさ $d$ とアシストガスである酸素ガスの酸化発熱作用による反応速度との関係によって切断断面に縦条痕（以下ストリエーション）が形成されそのピッチや粗さが決まる。ビーム径 $d$ が小さいほど切断断面のストリエーションピッチを小さくする事ができる。

【0004】一方、ビーム径 $D$ のレーザビームを焦点距離 $f$ のレンズで集光する際、一般に集光スポット径 $d$ に対して $d = (M^2 \times f \times \lambda) / (\pi \times D)$ の関係が成り立つ。（ $M^2$ ：集光性能パラメータ、 $f$ ：焦点距離、 $\lambda$ ：波長、 $D$ ：集光前ビーム径）そこで、切断断面の品質を良くするため、集光径 $d$ を小さくする事を行っている。

【0005】通常、焦点距離 $f$ が小さいか、或いは集光前のビーム径 $D$ が大きい、つまりFナンバーが小さな集光光学系の採用や $M^2$ 値の小さなレーザを採用し、小径化を行っている。図3にFナンバー $F = f/D$ と切断面の断面粗さの関係を示す。図中○印は、集光前のビーム径を $D = 25\text{mm}$ 、×印は集光レンズの焦点距離を $f = 190.5\text{mm}$ とした。

【0006】焦点近傍ではスポット径が極めて小さくなるため、ストリエーションのピッチや断面粗さは小さくなるが、同時に切り代であるカーフ幅（切り代）も狭くなる。このため、ドロスが流れ難くなってしまい、そのまま滞留して切断不良（ドロス付着）に至る。このように最も断面粗さが小さくなる領域で分断能力が低下して

しまう。

【0007】特に、厚鋼板の切断では、鋼板の厚みに応じて溶融させる体積が多くなるため、高出力密度のレーザビームが必要になる。そのため、 $M^2$ 値が小さく集光性の高いレーザビームを集光するとスポット径が小さくなるため、出力密度が高くなりすぎプラズマの発生に伴ってバーニング（断面のえぐれ）を誘発し、切断断面品質（切断面粗さ）はむしろ悪化する。このため、厚鋼板を断面品質良くかつドロスフリーで切断することは困難であった。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記事情に基づいてなされたものであり、容易にかつ安定的に高品質な鋼板の切断を行うことができるレーザ切断方法及びレーザ切断装置を提供することを目的とするものである。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明に係るレーザ切断方法は、レーザビームを鋼板に照射して加熱溶融しレーザ照射部を切断線に沿って移動しながら鋼板をレーザ切断する方法において、複数のレーザビームの集光スポットを鋼板上にて切断進行方向に対し直角方向に並べて配置して切断することを特徴とするものである。

【0010】また、上記目的を達成するために本発明に係るレーザ切断装置は、レーザ発振器、ビーム伝送光学系、及び集光光学系と切断用アシストガス供給装置を伴う切断トーチからなるレーザ切断装置において、切断トーチから入力したレーザビームを分割するビームスプリッターと分割されたビームを照射面上で切断進行方向に対して直角に配置する切り替え機構と集光レンズとを備えたことを特徴とするものである。

## 【0011】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の方法を実施するためのレーザ切断用トーチの概略図である。図1に示すように、切断用トーチは、ノズル部2の内側にビームスプリッタ10、集光レンズ6を配置し構成される。レーザ発振器から切断用トーチに導かれたレーザビーム4は、ノズル部2のビームスプリッタ10で出力を2分割され、集光レンズ6によって鋼板1の上表面に集光スポット8として結像し照射される。

【0012】本発明の範囲で使用可能なビームスプリッタの例を図4に示す。同図の a) は山形のビームスプリッタ15、b) は回折型(Diffractive Optical Element, DOE)のビームスプリッタ16である。a) では左右斜面の傾斜方向の異なる山形ビームスプリッタ15で屈折角度の差を利用してレーザビーム4を矢印の方向に出力的に2分割する。

【0013】b) ではビームスプリッタ16の表面に付与されている微細パターンの微少段差によってレーザビー

ム4を位相変調し矢印の方向に出力、形状とも等価的に2分割する。

【0014】図2は集光スポット8を鋼板1上に配置するためのビーム配置略図である。ツインスポットは切断進行方向に対して直行するように並べて配置される。この時、各ビームの中心間の間隔を $\Delta y$ 、ビーム径を $d$ とする。

【0015】以下に、ツインスポットの間隔と出力密度の与え方について説明する。鋼板の切断では、レーザー照射にて発生する1次的熱エネルギーと酸素ガスによる2

10 次的な酸化発熱反応による熱エネルギー利用する。  
【0016】この際、レーザービームの光軸と同軸に酸素ガスを供給するため、レーザーの集光スポットを中心にして速度 $V_0$ で酸化発熱反応が進行し周囲に広がる。そして酸化発熱反応速度 $V_0$ よりも切断速度 $V$ が小さい場合には、集光スポット径 $d$ よりも大きな径 $\phi$ の領域が酸化発熱反応によって融点を上回る温度に達することになる。

【0017】従って、ツインスポットを切断方向と直角方向に配置した場合、そのツインスポットの間隔 $\Delta y$ はそれぞれの酸化発熱反応によってできる融点に達した径 $\phi$ の円の領域が接する間隔が上限と考えることができ、この時 $\Delta y = \phi$ が成り立つ。酸化発熱反応を含め融点に達した領域 $\phi$ は、鋼板の厚みや、レーザーの出力とビーム径から決まる出力密度、切断速度、アシストガスの酸素純度、供給量などによって決まるが現象は極めて複雑である。以下、ツインスポット法で切断するときの切断断面の品質について、例をあげて説明する。

【0018】図5は本発明法によるツインビームの間隔と切断面の断面粗さの関係を示した図である。焦点距離 $f=190\text{mm}$ のレンズで1ビームのスポット径を $350\mu\text{m}$ に集光し、両ビームの中心間隔を $\Delta y$ として配置した。レーザービームの出力は $1000\text{W}$ 、1ビーム当たりでは $500\text{W}$ 、1ビーム当たりの出力密度は $5.2 \times 10^5 \text{W/cm}^2$ とした。

【0019】ツインビームの間隔 $\Delta y=0\text{mm}$ は未分割ビームであり、従来法に相当する。この時の切断断面粗さ $R_z$ は $60\mu\text{m}$ である。 $\Delta y=0.1\text{mm}$ とすると $R_z$ は著しく低減し、切断面品質の改善が見られる。以降切断面粗さは緩やかに低下し、 $\Delta y=0.4\text{mm}$ で最小値に近くなる。 $\Delta y=0.8\text{mm}$ になると分割ビーム照射による熱エネルギーが鋼材の板厚分を溶融させ得るエネルギー量に達しなくなり、ドロスが付着して分断不能に至る。

【0020】図6には本発明法によるレーザービームの出力密度と切断面の断面粗さ $R_z$ の関係を示す。鋼材は板厚 $16\text{mm}$ 、ツインスポットのビーム間隔 $\Delta y$ は $0.5\text{mm}$ とした。従来法では出力密度が $10^3 \text{W/cm}^2$ の時、レーザーによる投入熱量が足りず板厚分を溶融させるに至らない。このため溶鋼が下方に流れ落ちず、切断不良になる。出力密度が $10^4 \text{W/cm}^2 \sim 10^5 \text{W/cm}^2$ の時、切断速度や酸素ガスの圧力設定値等アシストガス条件を適切に設定すれば、 $R_z$ は $60\mu\text{m}$ 程度まで向上する。通常のレーザー切断では切断材の切

断面品質は最も良くなるこの領域を使用している。

【0021】出力密度が $10^5 \text{W/cm}^2 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$ になると鋼材に対して加入熱になり切断面品質は悪化し始める。そして、それ以上の出力密度になるとプラズマが発生し始めバーニングを起こし切断面は極めて悪くなる。

【0022】これに対して、本発明法によると2ビームを合計した集光スポットの単位面積当たりの出力密度が $10^3 \text{W/cm}^2$ の時は従来法と同様、投入熱量が足りず切断不良になる。出力密度が $10^4 \text{W/cm}^2 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$ では、切断速度や酸素ガスの圧力設定値等アシストガス条件を適切に設定することで、溶鋼の通り道が板厚方向に安定して確保され、なおかつ熱源が分離しているためバーニングを起こしにくくすることができ切断後の断面品質は極めて良く、 $R_z$ で $15 \sim 50\mu\text{m}$ 程度まで向上する。

【0023】出力密度が $10^5 \text{W/cm}^2 \sim 10^7 \text{W/cm}^2$ の領域では、鋼材に対して過入熱になるため切断面品質は悪化し始める。そして、 $10^7 \text{W/cm}^2$ 以上の出力密度になるとプラズマが発生し始めバーニングを起こし切断面は極めて悪くなる。このように本発明法によれば切断断面の品質が最も良くなるレーザーの出力密度の設定条件の許容範囲が広く安定しており、切断断面粗さ $R_z$ が従来法に対して約半分以下に低減する。

【0024】以下に、本発明の方法を従来の方法と比較して説明する。図7は、板厚 $16\text{mm}$ の鋼材を炭酸ガスレーザーで切断した際の従来のシングルススポット照射法と本発明のツインスポット照射法のカーフ幅の比較である。横軸は鋼材表面に対する焦点位置 $\Delta$ （焦点位置が鋼材の内側が負）、縦軸はカーフ幅 $W$ である。良好切断領域を○印、不良切断領域を×印とした。

【0025】従来法では、集光光学系の焦点位置が鋼材表面付近とほぼ一致する場合には、ビーム径が小さくなるに従いカーフ幅が狭くなり、最小 $400\mu\text{m}$ となる。カーフ幅が狭くなると溶鋼が板厚方向に流れ落ちにくくなりドロスが残留し付着して切断不良に至る。そして鋼材表面に対し焦点位置が $-3\text{mm}$ 以下、 $3.0\text{mm}$ 以上離れると溶鋼がスムーズに流れ落ちるようになり良好切断領域となる。さらに焦点位置が鋼材表面から $5\text{mm}$ 以上離れるとビームスポット径が大きくなりエネルギー密度が低下して鋼材の厚み分を溶融するに至らず切断不良となる。一方、本発明法ではカーフ幅が最小 $1000\mu\text{m}$ と従来法と比較して広い。このため、 $\Delta=-5 \sim 5\text{mm}$ の範囲で溶鋼がスムーズに流れ落ち良好切断領域になる。

【0026】図8は、図7と同じ条件下において、鋼材表面に対する焦点位置 $\Delta$ と切断断面の表面粗さ $R_z$ の関係を板厚 $16\text{mm}$ の鋼材に対する従来法と本発明法について比較した。良好切断領域を○印、不良切断領域を×印で示す。従来法では $R_z$ が最小 $45\mu\text{m}$ 程度であるのに対して、本発明法では $R_z$ が $20\mu\text{m}$ と大幅に改善する。

【0027】図9、及び図10に本発明法による切断用トーチの概略図を示す。図9の切断用トーチは主軸部3

とノズル部2に分かれており、ノズル部2にはビームスプリッタ10と集光レンズ6が固定されている。

【0028】回転式ビーム配置切り替え部11において、主軸部3に対してノズル部2が回転する事ができる機構になっている。よって光軸に対して直角に組み込まれたビームスプリッタ10も光軸を中心にしてノズル部2と共に回転し、鋼材1の上表面におけるツインスポット8の配置を切断進行方向に応じて切り替える事ができる。よって直角方向の切断だけでなく、斜め方向や角部にRのついた箇所の切断にも対応可能である。

【0029】図10の切断用トーチは、主軸部3、摺動式ビーム切り替え部17、ノズル部2で構成されている。摺動式切り替え部11の中には、互いに直行する方向にレーザビームを分割するような向きに配置された2枚のビームスプリッタ10が設置されている。

【0030】これらの1対のビームスプリッタ10は、エアシリンダーやモータ等の摺動式駆動機構によって摺動式ビーム切り替え部17の中を前後できる機構になっている。そして、上位PC(計算機)からの指令によりどちらか一方のビームスプリッタがレーザビーム4の光軸

【0031】図11に本発明による切断法にて、鋼板1を反時計回りに四角形に切り抜く時の切断トーチの移動軌跡の上面図を示す。鋼板1上を図11中の切断開始地点13から切断終了地点14まで矢印に沿って連続して切断する。このとき、進行方向に対して直交する方向にツインビームスポットを配置する。

【0032】切断用トーチは切断開始地点13からスタートし直線に進み、最初の左90度折曲地点12に差し掛かったところで、上位PCからの指令によって回転切り替え機構を切断方向に同期させながら鋼板上のツインスポットの向きを時計回りに270度回転させる。摺動式切り替え機構の場合は、左90度折曲地点12において、一旦レーザを停止させ瞬時にビームスプリッタを切り替え後、鋼板上のツインスポットの向きを90度回転し再度レーザONにする。そして再び切断進行方向に直交する方向にツインビームスポットを配置し、矢印の方向に切断する。以降、折曲地点も同様にして切り進み、切断終了地点14にて停止し切断を完了する。

【0033】図12にはツインスポットによる切断方法と同等の効果が得られるよう複数のスポットを並べたマルチスポット照射法の集光ビームの配置図を示す。ツインスポット照射法同様、同図b)のように切断方向に対し直交する方向にn個の集光スポットを並べて配置しても良い。このときの各ビームのスポット間の間隔 $\Delta y$ は、酸化発熱反応の進行限界領域径 $\phi$ としたときに $\Delta y \leq \phi$ を満たす範囲とする。

【0034】マルチスポット照射法は板厚が厚くなり、ビーム径を小さく集光する場合に有効である。これらは

ドロスの排出、及び切断断面の品質において、同等の効果が得られる。

【0035】

【実施例1】図11の様に厚さ16mmの鋼板を3m×5mの長方形の形状に切り抜くレーザ切断を実施した。

【0036】装置構成は、出力1.5kW、波長10.6 $\mu$ mの炭酸ガスレーザ切断機、図4のb)タイプの回折型ビームスプリッタと回転式切り替え装置、及び焦点距離f=190mmの集光レンズを含むレーザ切断トーチとした。鋼板上には、ビームスプリッタで2分割後集光レンズで集光したツインスポットを図12のa)のように配置し、切断トーチは図9のような構成とした。アシストガスは純度99.6%の酸素ガスを使用してレーザビームと同軸に流し、切断速度を $v=0.8$ m/minとして鋼板1上を切断開始地点から切断終了地点まで矢印に沿って連続して切断し、3m×5mの長方形に切り抜いた。

【0037】切断用トーチは切断開始地点13においてレーザONし約3sec間停止後、スタートして図中点線上を直線に進む。最初の左90度の折曲地点12に差し掛かったところで、上位PCからの指令によってビームスプリッタ回転切り替え機構を作動させて鋼板上のツインスポットの向きを切断方向に同期させながら270度時計回りに回転させる。そして再び切断進行方向に直交する方向にツインビームスポットを配置し、矢印の方向に切断する。

【0038】以降、折曲地点も同様にして切り進み、切断終了地点14にて停止し切断を完了した。これらの過程を経て切断完了した被切断材料の切断面は、外周上どの地点においてもドロス付着や、切断面のえぐれ等が無く切断欠陥は皆無であった。

【0039】

【実施例2】図13の様に厚さ16mmの鋼板を3m×5mの長方形の形状に切り抜くレーザ切断を実施した。

【0040】装置構成は、出力1.5kW、波長10.6 $\mu$ mの炭酸ガスレーザ切断機、図4のb)タイプの回折型ビームスプリッタと前後摺動式切り替え装置、及び焦点距離f=190mmの集光レンズを含むレーザ切断トーチとした。鋼板上には、ビームスプリッタで2分割後集光レンズで集光したツインスポットを図12のa)のように配置し、切断トーチは図10のような構成とした。アシストガスは純度99.6%の酸素ガスを使用してレーザビームと同軸に流し、切断速度を $v=0.8$ m/minとして鋼板1上を切断開始地点から切断終了地点まで矢印に沿って連続して切断した。切断用トーチは切断開始地点13においてレーザONし約3sec間停止後、スタートして図中点線上を直線に進む。

【0041】最初の左90度の折曲地点12で一旦レーザビームをOFFにして、同時に上位PCからの指令によってビームスプリッタの前後摺動式切り替え機構を作動させて鋼板上のツインスポットの向きを90度回転させ

10

20

30

40

50

る。切断方向も90度折り曲げ方向に切り替えレーザを再度ON後2秒間停止させ再度点線上を矢印に沿って切り進む。

【0042】以降、折曲地点も同様にして切り進み、切断終了地点14にて停止し切断を完了した。これらの過程を経て切断完了した被切断材料の切断面は、外周上どの地点においてもドロス付着や、切断面のえぐれ等が無く切断欠陥は皆無であった。

【0043】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、2つ以上の複数の集光スポットをもったレーザビームを使用してカーフ幅（切り代）を1ビームでの切断時よりも広げるように集光スポットを配置して切断することによって、従来の切断方法よりも切断断面粗さ等の断面品質は大幅に向上し、溶銅の残留やドロスの付着等のない安定した切断面品質を得ることができ切断欠陥の抑制に対して大幅な効果が見られる。このことは切断後のドロス落としなどの後工程が不要なため、製造現場での要員削減やコストの削減に効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明法を実施するためのレーザ切断用トーチの概略図

【図2】鋼板に対するツインスポットビームの配置図

【図3】Fナンバーと切断面粗さの関係を示す図

【図4】本発明法で使用するビームスプリッタの例を示す図

【図5】ツインビームの間隔と切断面粗さの関係を示す図

【図6】レーザの出力密度と切断面粗さの関係を示す図

【図7】従来法と本発明法による切断部カーフ幅の比較図

【図8】従来法と本発明法による切断面粗さの比較図

【図9】本発明法による切断用トーチの概略図

【図10】本発明法による切断用トーチの概略図

【図11】本発明法による切断用ビームスポットの配置と移動軌跡の上面図

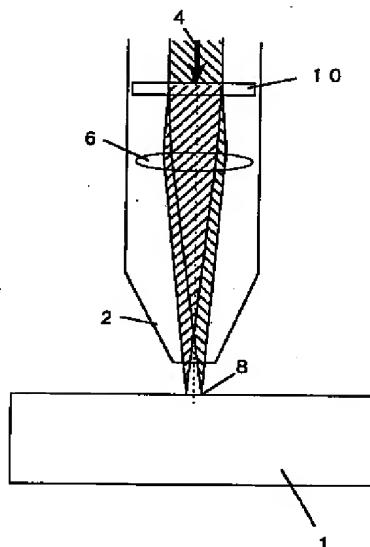
【図12】鋼板上でのマルチスポットの配置概略図

【図13】本発明法による切断用ビームスポットの配置と移動軌跡の上面図

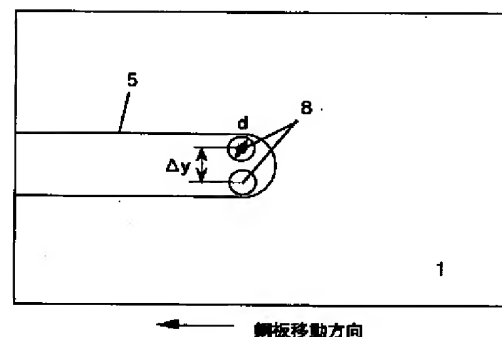
【符号の説明】

- 1 鋼板
- 2 ノズル部
- 3 トーチ主軸部
- 4 レーザビーム
- 5 未切断部
- 6 集光レンズ
- 7 回転軸
- 8 レーザ集光部
- 9 被切断部
- 10 ビームスプリッタ
- 11 回転式ビーム配置切り替え部
- 12 ツインスポットビーム配置切り替え地点
- 13 切断開始地点
- 14 切断終了地点
- 15 山形ビームスプリッタ
- 16 回折型ビームスプリッタ
- 17 摺動式ビーム配置切り替え部

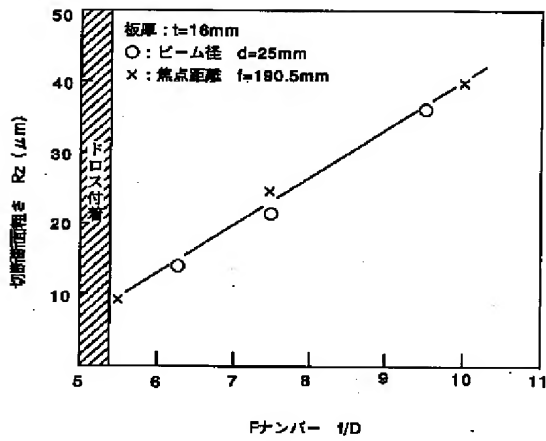
【図1】



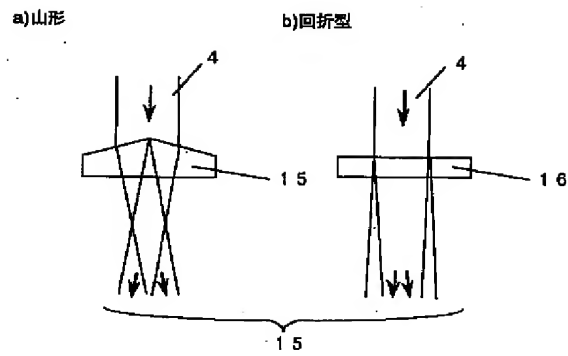
【図2】



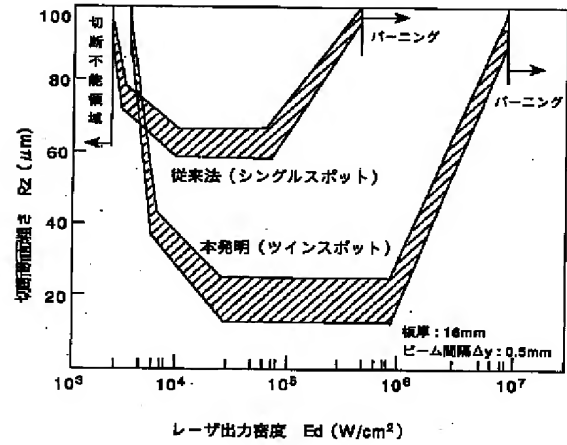
【図3】



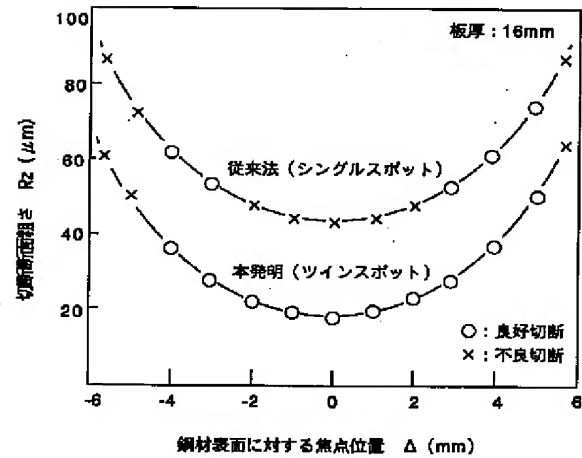
【図4】



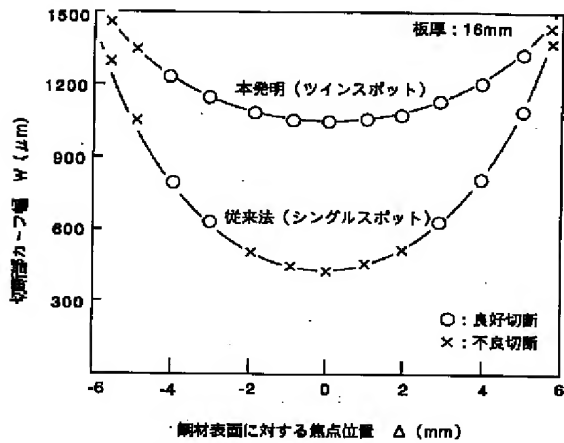
【図6】



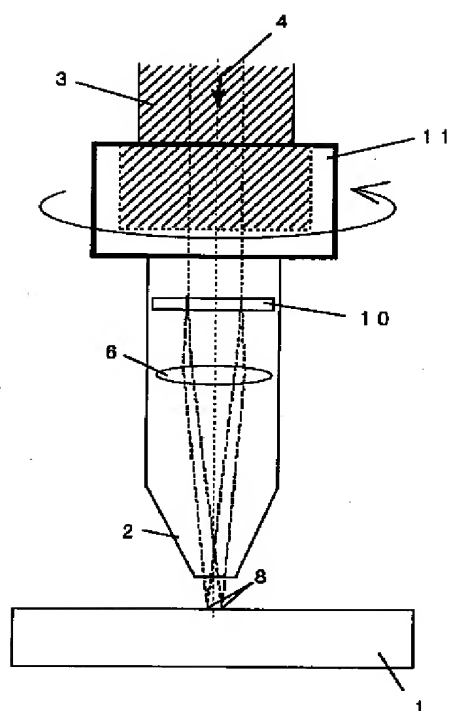
【図8】



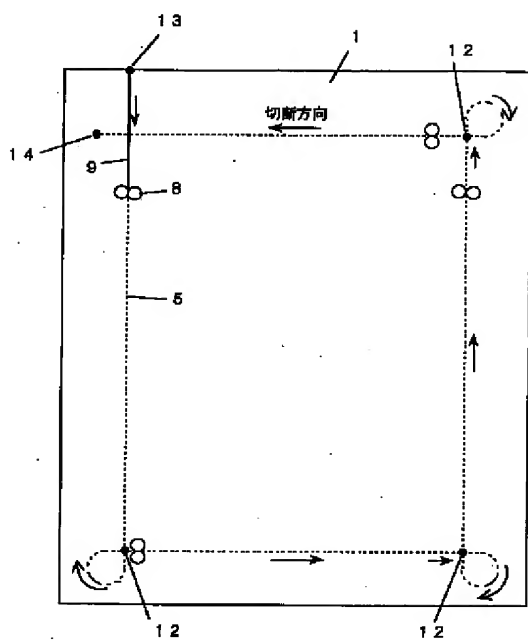
【図7】



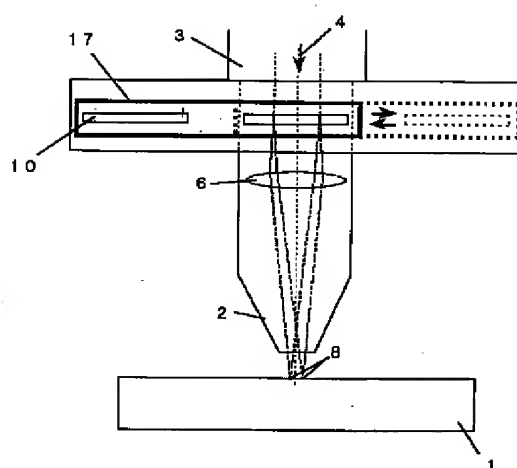
【図9】



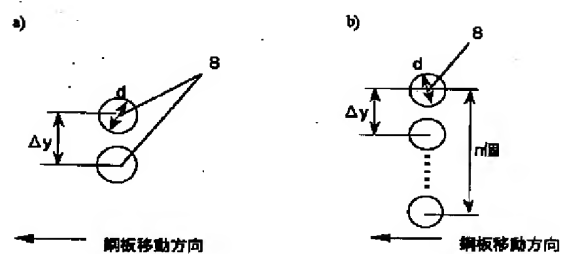
【図11】



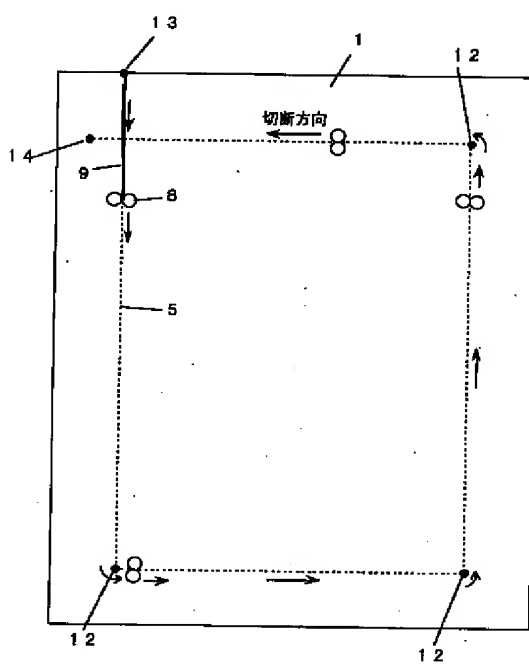
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 博之  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(72)発明者 南田 勝宏  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

Fターム(参考) 4E068 AE00 CD04 CD08 DA14 DB01



**PAT-NO:** JP02002137078A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2002137078 A  
**TITLE:** LASER BEAM CUTTING METHOD AND LASER BEAM CUTTING  
DEVICE  
**PUBN-DATE:** May 14, 2002

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
IMAI, HIROFUMI	N/A
HAMADA, NAOYA	N/A
YAMAMOTO, HIROYUKI	N/A
MINAMIDA, KATSUHIRO	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
NIPPON STEEL CORP	N/A

**APPL-NO:** JP2000326930  
**APPL-DATE:** October 26, 2000

**INT-CL (IPC):** B23K026/00 , B23K026/06

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a laser beam cutting method for a steel plate and its device which realize laser beam cutting having excellent quality in a cut face by solving problems such as roughness on the cut face, reduction in vertical streak pitch, and adhesion of dross in the laser beam cutting.

**SOLUTION:** In this method wherein a steel plate 1 is heated and melted by irradiating the steel plate 1 with a laser beam 4, and the steel plate 1 is brought into the laser beam cutting by shifting a laser beam irradiation part along a cut line, a plurality of, two or more condensing spots 8 of the laser beam are arranged side by side in a direction perpendicular to a cutting and traveling direction on the steel plate 1, and the steel plate 1 is cut.

**COPYRIGHT:** (C)2002,JPO